Consultative Document / Document de consultation

Atomic Energy Control Board / Commission de contrôle de l'énergie atomique

CONSULTATIVE DOCUMENT C-104

Proposed Regulatory Policy Statement

REGULATORY OBJECTIVES, REQUIREMENTS AND GUIDELINES FOR THE DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTES

Issued for comment:

April 30, 1986

Canada

This Consultative Document is issued in order to provide an opportunity for public review of the proposal it contains before formal issue as a Regulatory Document. Comments are encouraged and should be directed to the address below before JULY 30, 1986.

Subject to the Access to Information Act, all comments will be disclosed to the public and will be placed in the AECB Public Documents Room in the AECB offices at 270 Albert Street, Ottawa. Commentators should identify those parts of their comments that should not be disclosed pursuant to the Access to Information Act, the reason why they should not be disclosed, and also identify those parts that they consent to the disclosure of.

Direct comments to:

Health Effects and Regulatory
Documents Section
Atomic Energy Control Board
P.O. Box 1046
Ottawa, Ontario
CANADA
K1P 5S9

THE AECB REGULATORY DOCUMENTS SYSTEM

1. Siting, design, manufacture, construction, commissioning, operation, and decommissioning of nuclear facilities, or the production, possession, use and disposal of prescribed substances, in Canada or under Canadian control, are subject to the provisions of the Atomic Energy Control Act and Regulations administered by the Atomic Energy Control Board (AECB).

2. In addition to the Atomic Energy Control Regulations, three other categories of Regulatory Document are employed by the AECB. These are:

   Generic Licence Conditions - standard sets of conditions that are included in particular AECB licences of a common type, unless specific circumstances indicate otherwise;

   Regulatory Policy Statements - firm expressions that particular "requirements" not expressed as Regulations or Licence Conditions be complied with or that any requirements be met in a particular manner but where the AECB retains the discretion to allow deviations or to consider alternative means of attaining the same objectives where a satisfactory case is made; and

   Regulatory Guides - guidance or advice on any aspect of the AECB's regulatory process that is given in a manner less rigid than that intended by Policy Statements.

3. In developing Regulatory Documents, the AECB publishes its proposals as Consultative Documents in order to solicit comments both from the nuclear industry and from the public. This is done prior to releasing any Regulatory Document in final form. In certain cases, after the period for public comment, a Consultative Document may be issued for "trial use". This is done for a limited period of time to gain practical experience. Following the period of trial use, the revised document is re-issued for further public comment prior to release in final form.

4. Comments on Consultative Documents and suggestions for new Regulatory Documents and for improvement to those that exist are encouraged and should be directed to the Health Effects and Regulatory Documents Section of the AECB.

5. Copies of Consultative Documents, Regulatory Documents and related index lists are available in both English and French on request from the Office of Public Information. Requests for technical information on and interpretation of documents should be addressed to this office.

6. The Atomic Energy Control Board may be contacted as follows:

Postal address: Atomic Energy Control Board
P.O. Box 1046
Ottawa, Ontario
CANADA
K1P 5S9

Telephone
General Inquiries: (613) 995-5894

TABLE OF CONTENTS

LISTING OF OBJECTIVES, REQUIREMENTS AND GUIDELINES (ii)

1. PURPOSE AND SCOPE 1

2. INTRODUCTION 1

3. OBJECTIVES OF RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL 2

4. BASIC REGULATORY REQUIREMENTS 3

4.1 Burden on Future Generations 3

4.2 Protection of the Environment 4

4.3 Protection of Human Health 4

4.3.1 Requirements in the Absence of Institutional Controls 4

4.3.2 Requirements in the Presence of Institutional Controls 6

5. GUIDELINES FOR APPLICATION OF THE BASIC RADIOLOGICAL REQUIREMENTS 6

5.1 Identifying the Individual of Concern 6

5.2 Probabilities of Exposure Scenarios 7

5.3 Timescale of Concern 7

5.4 Output from Predictive Modelling 9

5.5 Optimization 10

REGULATORY OBJECTIVES, REQUIREMENTS AND GUIDELINES FOR THE DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTES

LISTING OF OBJECTIVES, REQUIREMENTS AND GUIDELINES

I. OBJECTIVES OF RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL

The objectives of radioactive waste disposal are that wastes be dealt with in a manner that:

- minimizes any burdens placed on future generations,
- protects the environment,
- protects human health,

taking into account social and economic factors.

II. BASIC REGULATORY REQUIREMENTS

A. Burden on Future Generations

The burden on future generations shall be minimized by:

(a) selecting disposal options for radioactive wastes which to the extent reasonably achievable do not rely on long-term institutional controls as a necessary safety feature;

(b) implementing these disposal options at an appropriate time, technical, social and economic factors being taken into account; and

(c) ensuring that there are no future radiological risks to human health that would not be currently accepted.

B. Protection of the Environment

Radioactive waste disposal options shall be implemented in a manner such that there are no future radiological impacts on the environment that would not be currently accepted and such that the future use of natural resources is not impaired by either radioactive or non-radioactive contaminants.

C. Protection of Human Health

(1) Requirements in the Absence of Institutional Controls

For a disposal facility where long-term institutional controls are not required as a safety feature, the predicted radiological risk to individuals shall not exceed 1×10^{-6} serious health effects in a year.

(2) Requirements in the Presence of Institutional Controls

For a disposal facility where long-term institutional controls are required as a safety feature, the predicted radiological risk to individuals may exceed 1×10^{-6} serious health effects in a year:

(a) if this is compatible with the results of optimization considerations, and

(b) provided that the predicted radiological risk to individuals does not exceed that which is presently accepted from current operations involving the same wastes.

III. GUIDELINES FOR APPLICATION OF THE BASIC RADIOLOGICAL REQUIREMENTS

A. Identifying the Individual of Concern

The individual risk requirements should be applied to a group of people that is assumed to be located at a time and place where the risks are likely to be the greatest, irrespective of national boundaries.

B. Probabilities of Exposure Scenarios

The probabilities of exposure scenarios should be assigned numerical values either on the basis of relative frequency of occurrence or through best estimates and engineering judgements.

C. Timescale of Concern

The period for demonstrating compliance with the individual risk requirements using predictive mathematical models need not exceed 10,000 years. Where predicted risks do not peak before 10,000 years, there must be reasoned arguments that beyond 10,000 years the rate of radionuclide release to the environment will not suddenly and dramatically increase, and acute radiological risks will not be encountered by individuals.

D. Output From Predictive Modelling

Calculations of individual risks should be made by using the risk conversion factor of 2×10^{-2} per sievert and the probability of the exposure scenario with either:

(a) the annual individual dose calculated as the output from deterministic pathways analysis; or

(b) the mean value of annual individual dose from the distribution of individual doses in a year calculated as the output from probabilistic environmental pathways analysis.

In addition, where probabilistic environmental pathways analysis is used, the number of simulations predicting annual individual doses in excess of 1 mSv should not exceed 5% of the total number of simulations.

E. Optimization

For a disposal facility where long-term institutional controls are required as a safety feature and the predicted radiological risk to individuals is likely to exceed 1×10^{-6} serious health effects in a year, all known radiological and non-radiological factors should be considered in an optimization analysis.

REGULATORY OBJECTIVES, REQUIREMENTS AND GUIDELINES FOR THE DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTES

1. PURPOSE AND SCOPE

It is the purpose of this document to present the regulatory basis for judging the long-term acceptability of radioactive waste disposal options, assuming that the operational aspects of waste emplacement and facility closure satisfy the existing regulatory framework of requirements. Basic objectives of radioactive waste disposal are given, as are the regulatory requirements which must be satisfied in order to achieve these objectives. In addition, guidelines are given on the application of the radiological requirements to assist proponents in the preparation of submissions to the Atomic Energy Control Board (AECB).

The primary focus of the requirements is on radiation protection, although environmental protection and institutional controls are also addressed in a more general way since these factors stem directly from the overall objectives for radioactive waste disposal. Other types of regulatory requirements such as might concern other aspects of conceptual assessments, siting, design, construction, operation and decommissioning of facilities for the management of particular waste types are, or will be, addressed in separate regulatory documents. Examples of these documents are Regulatory Document R-71 on the concept for deep geological disposal of nuclear fuel waste and Consultative Document C-36 on the management of uranium and thorium mine and mill tailings.

2. INTRODUCTION

In Canada, a wide variety of radioactive wastes are generated at all steps in the nuclear fuel cycle from uranium mining and milling to reactor operations for electricity production, and from the use of radioisotopes in industry, research and hospitals. The bulk of these wastes are managed in a manner based on the principles of containment and isolation from people and the environment. However, the techniques employed rely on the continued need for human intervention and surveillance whether this be for monitoring, maintenance, treatment or restriction of public access to assure an acceptable level of radiological safety. The remaining wastes are disposed of either by controlled discharge to the environment as gaseous and liquid effluents, or in the case of small quantities of lightly contaminated material, by treatment as conventional wastes with no requirement for special radiological precautions.

The current operation of radioactive waste management facilities and the routine discharge of radioactive effluents from other nuclear facilities are strictly regulated by the AECB using a comprehensive system of licensing, compliance and enforcement activities. The specific radiological requirements applied by the AECB are derived from the system of dose limitation recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP). The dose limits recommended by the ICRP are intended to apply to all practices in which radiation exposure of workers and the public can be influenced by active controls but do not apply to exposures from non-routine situations, medical irradiations and natural background radiation. For exposures from non-routine situations such as accidents and unusual events during nuclear facility operations, the radiological requirements that are applied by the AECB acknowledge the expected frequency or probability of occurrence of the

non-routine event or process that would cause the exposure. In summary, for current operations a regulatory framework of radiological requirements is actively applied, such that procedures of various types are reliably maintained for monitoring environmental discharges, conducting remedial actions as necessary, and controlling exposure pathways.

For the long-term management of radioactive wastes, the preferred approach is disposal, a permanent method of management in which there is no intention of retrieval and which, ideally, uses techniques and designs that do not rely for their success on such procedures being effective beyond a reasonable period of time. The practical disposal options presently being studied usually involve containment of the wastes and their isolation from the human environment for extended time periods. For some waste types, though, such as the large-volume wastes from uranium mining and milling, the ideal type of disposal may sometimes not be practicable. In such instances where there are no reasonable disposal options for achieving the ideal goal, there may be a long-term need for continued institutional controls to guard against particular exposure scenarios after the facility has ceased receiving waste and has been closed down.

Whichever option is implemented for the long-term containment and isolation of radioactive wastes, exposures after the closure of a disposal facility will be dependent on a range of events and processes with varying probabilities of occurrence and, in some cases, they will be delayed for considerable periods of time. Forecasts of the possible doses to humans are subject to additional uncertainties owing to the range of factors affecting the environmental transport of radionuclides and to changes which might occur in future living habits, lifestyles and population distributions. Also, in the case of disposal with no ongoing requirement for institutional controls, it would be unwise to assume an ability in the future to enforce compliance with a present-day forecast. One of the basic tenets of the current regulatory framework is therefore not valid in this case. There is consequently a need to establish alternative regulatory requirements to ensure the acceptability of waste disposal options for which there are potential long-term radiological impacts in the post-operational period. For reasons of consistency, equity and fairness, these requirements should be based upon an extension of the existing regulatory framework and should be broadly applicable to all waste types and disposal options in which long-term containment and isolation are employed.

3. OBJECTIVES OF RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL

The objectives of radioactive waste disposal are that wastes be dealt with in a manner that:

- *minimizes any burdens placed on future generations,*
- *protects the environment,*
- *protects human health,*

taking into account social and economic factors.

Many factors must be taken into account in meeting these objectives in an effective and reliable way over the long term. The disposal of radioactive wastes on the basis of containment and isolation requires safety features to restrict the release of radionuclides into the environment and to reduce the likelihood of inadvertent public access to the waste. These safety features may

incorporate a suitable combination of processes, barriers and institutional controls. The processes include radioactive decay, adsorption, chemical precipitation, dilution, dispersion and other phenomena which influence the transport of radionuclides. The barriers may be provided by engineered design or by the natural geological setting of the site; a system of multiple barriers gives an increased degree of assurance of containment and isolation and of assurance that any release of radioactive material to the environment will occur at an acceptably low rate. Institutional controls are the mechanisms established by society to ensure the continued implementation and achievement of a desired course of action. These controls could include the monitoring and treatment of contaminated effluents, the keeping of records, and the imposition of land-use restrictions registered in property deeds and by-laws.

4. BASIC REGULATORY REQUIREMENTS

4.1 Burden on Future Generations

The burden on future generations shall be minimized by:

(a) selecting disposal options for radioactive wastes which to the extent reasonably achievable do not rely on long-term institutional controls as a necessary safety feature;

(b) implementing these disposal options at an appropriate time, technical, social and economic factors being taken into account; and

(c) ensuring that there are no future radiological risks to human health that would not be currently accepted.

The requirement concerning the minimization of burdens on future generations is based on three matters of principle. The first reflects a pessimistic view of the longevity of institutional controls and concern for the possible consequences should they lapse. Where reasonable disposal alternatives clearly exist, those options which involve reliance on monitoring, surveillance or other institutional controls as a primary safety feature for very long periods are not recommended. This is not because of concern that future generations will be technologically incompetent, but rather because methods of ensuring the continuity of controls are not considered very reliable beyond a few hundred years. Similarly, it is not meant to imply that means to preserve the identity and location of waste disposal facilities or to monitor their performance should not be attempted. It is expected that records will be kept and that in some cases monitoring will be carried out, but, where reasonably possible, safety should not rely on these measures.

The second matter of principle concerns the responsibility of the present generation, as the primary beneficiary of the current exploitation of nuclear energy, to bear the financial burden associated with the implementation of waste disposal options. This view may be mitigated by the recognition that the current use of nuclear energy contributes to an improved standard of living that will benefit future generations. In any case, the timing of the implementation of waste disposal options will depend on a number of technical, social and economic factors. These include the availability and development of suitable sites and technology, the technical advantages to be gained from interim storage

of short-lived wastes and, in the case of used nuclear fuel, the desire not to discard prematurely various constituents that are of potential value to future generations.

The third matter of principle concerns the level of radiological risk that may be imposed on future generations since it is not possible to ensure total containment and isolation and absolute safety at all times. On ethical grounds, and in keeping with the recommendations of the ICRP, the radiological risks to future individuals should be limited on the same basis as are the risks to individuals living now. Moreover, the judgement is made that the level of protection to be afforded to future individuals should not be less than that which is currently provided.

4.2 Protection of the Environment

> *Radioactive waste disposal options shall be implemented in a manner such that there are no future radiological impacts on the environment that would not be currently accepted and such that the future use of natural resources is not impaired by either radioactive or non-radioactive contaminants.*

The primary goal of radiation protection is the maintenance of appropriately safe conditions for human activities. It is widely believed that the level of protection afforded all human individuals ensures adequate protection of other living species in the environment. It follows then that by establishing the requirements found in this document concerning the health burden on future generations, an appropriate requirement for environmental protection is also formulated.

However, there is also a need to provide adequate protection for the general physical environment from the impacts that might arise from either radioactive or non-radioactive contaminants. The long-term management of radioactive wastes must therefore comply with the appropriate requirements governing land-use and the protection of natural resources, such as water, minerals and other economically viable commodities. This basic requirement applies both to the environment surrounding a waste management facility and to the materials consumed in its construction and operation.

4.3 Protection of Human Health

4.3.1 Requirements in the Absence of Institutional Controls

> *For a disposal facility where long term institutional controls are not required as a safety feature, the predicted radiological risk to individuals shall not exceed* 1×10^{-6} *serious health effects in a year.*

In judging the acceptability of a disposal facility for which forecasts of hypothetical exposures of individuals in the future are made, it is not appropriate to apply dose limits in the manner practised today for the current operation of nuclear facilities. This is because it will not generally be possible in the long-term to enforce compliance with any pre-selected dose limits. There is also considerable uncertainty as to whether the doses forecast will actually be received. This is due to the assumptions and uncertainties in

predictive assessments concerning, for example, the location of the exposed individuals. It is also clear that waste disposal facilities may be subject to a range of events and processes with various annual probabilities of occurrence much less than unity, which, if they were to occur, could cause doses in excess of an individual dose limit. For example, seismic or tectonic phenomena can modify groundwater flow characteristics, and flooding and meteorological effects may have a disruptive effect on near-surface facilities. Similarly, future human activities such as well-drilling, mineral exploitation, building and farming could give rise to immediate radiation impacts and could modify the characteristics of existing environmental pathways as well as introduce new pathways.

In order to take into account the hypothetical exposures in a year from both highly probable and less probable events and processes, the appropriate expression of the requirement is in terms of risk, where risk is defined as the probability that a serious health effect will occur to an individual or his or her descendants. Risk, when defined in this way, is the sum over all significant scenarios of the product of the probability of the exposure scenario, the magnitude of the resultant dose and the probability of a serious health effect per unit dose. Where it is reasonable to assume that the probability of the exposure scenario approximates unity, the risk is simply the product of the dose and the probability of a serious health effect per unit dose. This is often assumed to be the case for groundwater transport of radionuclides to the human environment in the long term from a waste disposal facility.

For lifelong continuous exposures from current nuclear operations, the present view of the ICRP is that the principal limit on effective dose equivalent to members of the public should be 1 millisievert (1 mSv) in a year, taking into account exposures from all sources and facilities excluding medical irradiations and natural background radiation. Since the probability of fatal cancers and serious genetic effects is approximately 2×10^{-2} per sievert, the probability of serious health effects associated with a dose of 1 mSv in a year is 2×10^{-5}.

In the case of a single waste disposal facility, there is a need to ensure that the predicted radiological risks associated with it are sufficiently low so as to allow for uncertainties in exposure scenarios and their consequences, and also to avoid prejudicing future nuclear activities which might impact on the same individuals. An appropriate and prudent risk level for individuals must therefore be chosen in keeping with the objective concerning the radiological health burden on future generations. The level of risk selected, 1×10^{-6}, or 1 in a million, in a year, is equivalent to an upper level of risk from other activities that currently are often considered to be of insignificant risk by individuals in their daily lives.

To put the foregoing into perspective, a risk of 10^{-6} in a year is the risk associated with a dose of 0.05 mSv in a year. Individual doses of 0.05 mSv in a year are a small fraction (approximately 2.5%) of the annual dose received by the general population in Canada from natural background radiation and are also equivalent to the design and operating targets for the routine release of radioactive effluents from nuclear power reactors in Canada.

4.3.2 Requirements in the Presence of Institutional Controls

> *For a disposal facility where long-term institutional controls are required as a safety feature, the predicted radiological risk to individuals may exceed 1 x 10^{-6} serious health effects in a year:*
>
> *(a) if this is compatible with the results of optimization considerations, and*
>
> *(b) provided that the predicted radiological risk to individuals does not exceed that which is presently accepted from current operations involving the same wastes.*

For some waste types in a site-specific situation, there may be no realistic alternative to their disposal in a manner which requires long-term institutional controls as a safety feature. Uranium mill tailings are a general class of wastes which are generated in large volumes and which, in most practicable disposal options, require some form of long-term institutional control to guard against the occurrence of particular exposure scenarios. This need arises since the tailings disposal options usually involve some variation of surface or near-surface containment. In this case, measures must be implemented to deter inadvertent public access to or misuse of the waste material. Moreover, monitoring, surveillance and maintenance may be needed to ensure satisfactory long-term performance. However, in keeping with the requirement concerning the burden on future generations, the need for such controls must be minimized to the extent reasonably achievable. Where institutional controls are required, remedial or other actions can be taken to reduce the risk, if deemed necessary at an appropriate time in the future. The predicted risk to individuals may then exceed 1 x 10^{-6} in a year if this is compatible with the results of optimization considerations. The stipulation that the predicted risk to individuals does not exceed that which is presently accepted from current operations involving the same wastes also follows from the requirement concerning the burden on future generations.

5. GUIDELINES FOR APPLICATION OF THE BASIC RADIOLOGICAL REQUIREMENTS

5.1 Identifying the Individual of Concern

> *The individual risk requirements should be applied to a group of people that is assumed to be located at a time and place where the risks are likely to be the greatest, irrespective of national boundaries.*

The concept of the critical group is commonly employed when applying individual dose limits to members of the public near existing nuclear facilities. This concept involves the identification of a relatively homogeneous group of people that is expected to receive the greatest exposure because of its location, age, habits and diet. Owing to the conservative assumptions usually made in selecting critical groups and in defining their lifestyles, the doses actually received will in most cases be lower than the estimated mean dose of the critical group.

When considering potential exposures in the future, the precise identification of critical groups and their lifestyles is not possible because of

uncertainties about population distributions, living habits, climate and other aspects of the environment. In these circumstances, the individual risk requirements should be applied to a group of people that is assumed to be located at a time and place where the risks are likely to be the greatest. The risk requirements shall be applied irrespective of the location of the exposed individuals. This ensures that individuals beyond the national border are afforded a level of radiation protection at least as stringent as the level afforded residents of Canada.

Definition of the lifestyle of the hypothetical group of people should be based on present human behaviour using conservative, yet realistic, assumptions. Similarly, the diet and metabolic characteristics of the group should be based on present knowledge, making the assumption that the basic dietary requirements of future individuals will be the same as those of people at present.

5.2 Probabilities of Exposure Scenarios

> *The probabilities of exposure scenarios should be assigned numerical values either on the basis of relative frequency of occurrence or through best estimates and engineering judgements.*

In order to apply the risk requirements it is necessary to express the probabilities of exposure scenarios quantitatively. While the term "probability" is usually defined in terms of relative frequency of occurrence, the conventional system for assigning probabilities breaks down as the frequency of occurrence decreases, since little information exists on which to base predictions. Low probability exposure scenarios should therefore be assigned values through best estimates and engineering judgements. These values can be determined using a subjective probability approach in which a number is assigned to the likelihood of an event occurring in a defined period of time, as a measure of the degree of belief that the event will actually occur during that time. The assignment should be made using quantitative analytical techniques to assess as broad a base of expert opinion as reasonably possible. The use of subjective probability is appropriate as long as the quantitative values assigned through best estimates and engineering judgements are consistent with the quantitative values of the actual relative frequencies in situations where more information is available.

5.3 Timescale of Concern

> *The period for demonstrating compliance with the individual risk requirements using predictive mathematical models need not exceed 10,000 years. Where predicted risks do not peak before 10,000 years, there must be reasoned arguments that beyond 10,000 years the rate of radionuclide release to the environment will not suddenly and dramatically increase, and acute radiological risks will not be encountered by individuals.*

Demonstration that a radioactive waste disposal facility complies with the individual risk requirements can only be done by forecasting future impacts using predictive mathematical modelling techniques. In any assessment of the performance of waste disposal options there are several general sources of uncertainty associated with parameter values, the mathematical models and the

specification of environmental pathways and exposure scenarios. As a consequence, there will always be uncertainty in the predicted radiation impact whether the impact arises from releases that have a high probability of occurrence or from releases that have a probability of occurrence much less than unity. In general, these uncertainties will increase as the period of prediction increases. On the other hand, the uncertainties are partially offset in that the potential hazard associated with radioactive wastes continuously decreases with time owing to radioactive decay, unlike the potential hazard from many types of toxic chemical wastes which do not decay.

In view of the increasingly speculative and uncertain environmental conditions that might exist in the future, estimates of individual risk in the far future may be subject to considerable error, given that environmental modelling is a key part of risk assessment. For example, if severe changes in global climate were to occur, the human environment would also drastically change from that understood today. It is therefore considered appropriate for regulatory decision-making purposes to establish an upper bound on the timespan for individual risk calculations.

Selection of an upper bound, however, is a matter of judgement since there does not appear to be any objective way of limiting the assessments in a scientifically satisfying manner. Taking into account the characteristics of radioactive wastes, the options for their disposal and the uncertainties in long-term predictions, it is considered that 10,000 years after the time of waste emplacement is a reasonable maximum period for assessments of individual risk.

For some waste types and disposal options, shorter time periods than 10,000 years for predictive modelling are all that are necessary. This is particularly true where radioactive decay or radionuclide release and dispersion are predicted to occur to the extent that risks to individuals are clearly on the decline. For other situations, assessments may show that the predicted risks to individuals do not peak before 10,000 years. This might occur where long-lived wastes are contained and isolated in geological formations that are relatively unaffected by natural surface phenomena and that are likely to remain stable over extended timescales. In these cases, there must be reasoned argument leading to the conclusion that beyond 10,000 years sudden and dramatic increases in the rate of radionuclide release to the environment will not occur and acute radiological risks will not be encountered by individuals.

To put the maximum period of 10,000 years for assessment into perspective, it should be recognized that a number of experts believe that the next glacial episode will commence as early as several to tens of thousands of years from now. In the event of glaciation, it can be expected that near-surface wastes will be dispersed and diluted in the environment by the movement of ice sheets. It is also reasonable to assume that humans would avoid a heavily glaciated region during an ice age although they would likely repopulate the region when glaciers recede many thousands of years later. Wastes at greater depth will be less affected by glaciation, depending on their depth below the surface and the nature of the geological host formation. For example, the evidence suggests that a deep geological repository for nuclear fuel wastes in hard crystalline rock would not be breached by the erosional effects of glaciation, although the regional groundwater flow system would likely be modified.

5.4 Output From Predictive Modelling

Calculations of individual risks should be made by using the risk conversion factor of 2 x 10^{-2} per sievert and the probability of the exposure scenario with either:

(a) the annual individual dose calculated as the output from deterministic pathways analysis; or

(b) the mean value of annual individual dose from the distribution of individual doses in a year calculated as the output from probabilistic environmental pathways analysis.

In addition, where probabilistic environmental pathways analysis is used, the number of simulations predicting annual individual doses in excess of 1 mSv, should not exceed 5% of the total number of simulations.

There are two general approaches to mathematically modelling the long-term performance of waste disposal facilities, but it must be recognized that in either the deterministic or the probabilistic approach the results can only represent an approximation of the consequences, were releases of radionuclides to occur. Confidence in the modelling output must then derive from a thorough examination of the assumptions, input data and mathematical models constructed to represent the release and transport of radionuclides and the subsequent exposure of individuals. Such an examination can be accomplished by a combination of several complementary methods. These include:

(a) the use of an appropriate quality assurance program in the development, application and maintenance of computer models and in the gathering, interpretation and incorporation of data;

(b) the use of experimental laboratory and field techniques for the validation of models and parameter values to the extent possible; and

(c) peer review by independent experts.

In the traditional deterministic approach, a single value for each of the model parameters is selected from a range of input values to produce a single value of model output, usually in terms of annual individual dose which is the consequence of primary interest. When using this technique, conservative assumptions are usually made to compensate for the several sources of uncertainty in environmental modelling and to ensure that the calculations overestimate the potential doses from possible releases from a facility. Where complex systems are being modelled, sensitivity analyses should be conducted to investigate the effect of changes in the values of model parameters on the magnitude of the dose estimate, particularly when the estimated dose is judged to be significant. Comparisons with the risk requirements are then straightforward provided that the probabilities of exposure scenarios have been properly assigned.

The alternative approach involves probabilistic assessment techniques in which each parameter value is randomly selected from its probability distribution for input to the model. By repeating the analysis many times, a frequency

distribution of consequences is obtained which represents the spread and variation of outcomes as a result of variability and uncertainty in input parameter values for particular generalized exposure scenarios. While this approach has certain advantages over the traditional deterministic approach by providing more information, a frequency distribution of individual dose will usually display a most probable dose value and a maximum dose value in the high tail extremity of the distribution. In this case, the arithmetic mean value of the distribution should be calculated and should be taken as being representative of the consequences predicted for a generalized exposure scenario, such as that involving groundwater transport of radionuclides to the environment. In the same way as for deterministic assessments, sensitivity analyses should also be conducted to investigate the effect of changes in input assumptions on the mean value of dose. The latter should then be combined with both the probability of the generalized exposure scenario and the risk conversion factor for comparison with the individual risk requirements.

By calculating the mean value of the frequency distribution of dose, the significance of the extreme, high values may be overlooked since some of these could conceivably result from combinations of reasonable parameter values. However, the fact that such combinations generate consequences in the tail end of the distribution is indicative that their relative frequency of occurrence is low. Nonetheless, the relative frequencies of occurrence of high consequences may differ significantly between frequency distributions having the same mean value. An additional criterion is therefore needed to help judge the acceptability of an option for which probabilistic environmental pathways analysis calculates high doses, albeit with a low relative frequency.

The specification of such a criterion in terms of the relative frequency with which the predicted consequences exceed a given dose is somewhat arbitrary, requiring the selection of two parameters, namely, the reference dose level and the frequency of exceeding that level. A reference dose level of 1 mSv in a year is equivalent to the dose limit recommended by the ICRP for members of the public for exposures of extended duration from present-day operations. It is also approximately 50% of the dose from natural background radiation in Canada. A relative frequency of 5% for exceeding the reference dose level corresponds, in the case of doses distributed in a Gaussian way about the mean value, to specifying that 95% of the predicted doses must lie within two standard deviations of the mean. This is analogous to criteria commonly used in statistics.

5.5 Optimization

> *For a disposal facility where long-term institutional controls are required as a safety feature and the predicted radiological risk to individuals is likely to exceed 1×10^{-6} serious health effects in a year, all known radiological and non-radiological factors should be considered in an optimization analysis.*

The ICRP principle that all exposures should be as low as reasonably achievable, taking social and economic factors into account, is generally applicable to the disposal of radioactive wastes. Application of this principle in the formal way recommended by the ICRP involves a comparison of the

differences in costs of viable and potentially acceptable options and the differences in radiation protection that is provided.

Such differential cost-benefit analysis, however, is unlikely to lead to a clear discrimination between options, particularly when the risks are forecast to occur far into the future. In this case, broader analyses and a variety of preference criteria may be needed to aid in deciding between options. It is appropriate to consider both public and worker risks associated with each step of the sequence of activities involved in waste disposal and not simply the risks to individuals in the long term. Preference criteria might also apply to the spatial and temporal distributions of radiological risk and to a variety of non-radiological factors. The latter include, but are not limited to, conventional safety, environmental impacts, transportation, the nature and length of any institutional control requirements and the susceptibility of disposal options to natural disruptive events and human intrusion.

Consultative Document / Document de consultation

Atomic Energy Control Board / Commission de contrôle de l'énergie atomique

DOCUMENT DE CONSULTATION C-104

Projet de déclaration de principe en matière de réglementation

OBJECTIFS, EXIGENCES ET LIGNES DIRECTRICES RÉGLEMENTAIRES POUR L'ÉVACUATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Publié pour commentaires :

le 30 avril 1986

Canada

Le présent document de consultation est publié dans le but de fournir au public l'occasion d'examiner le projet qu'il contient avant qu'il soit adopté dans sa forme définitive comme document de réglementation. Le public est invité à faire parvenir ses observations à l'adresse indiquée ci-dessous avant le 30 JUILLET 1986.

Sous réserve de la Loi sur l'accès à l'information, toutes les observations seront communiquées au public et déposées dans la Salle des documents publics au siège social de la CCEA, au 270, rue Albert, Ottawa. Ceux et celles qui font des observations sont priés d'indiquer clairement quelles parties de leurs commentaires ne devraient pas être communiquées au public en vertu de la Loi sur l'accès à l'information et justifier leur demande; ils devraient, d'autre part, indiquer quelles parties ils autorisent à communiquer au public.

Veuillez adresser vos commentaires à l'adresse suivante :

Section des effets sur la santé et
des documents de réglementation
Commission de contrôle de l'énergie atomique
C.P. 1046
Ottawa (Ontario)
CANADA
K1P 5S9

TEXTES DE RÉGLEMENTATION DE LA CCEA

1. Le choix d'emplacement, la conception, la fabrication, la construction, la mise en service, l'exploitation et le déclassement d'installations nucléaires ou la production, la possession, l'utilisation et l'élimination de substances prescrites, au Canada ou sous contrôle canadien, sont assujettis aux dispositions de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique et de son Règlement d'application, dont l'administration relève de la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA).

2. En plus du Règlement susmentionné, la CCEA utilise trois catégories de textes de réglementation. En voici une courte description.

   Conditions générales d'autorisation de permis - ensemble de conditions types figurant dans tous les permis similaires délivrés par la CCEA, à moins de circonstances exceptionnelles;

   Déclarations de principe en matière de réglementation - déclarations laissant clairement entendre que certaines "exigences" qui ne figurent ni dans le Règlement ni dans les conditions des permis sont obligatoires ou que certaines exigences doivent être respectées d'une façon déterminée laissant également entendre que la CCEA se réserve le droit de permettre des écarts ou d'envisager d'autres façons d'en arriver aux mêmes fins, lorsque ces façons semblent convenir; et

   Guides de réglementation - directives ou conseils donnés sur tout aspect de la réglementation assurée par la CCEA mais formulés de façon moins rigoureuse que dans les déclarations de principe.

3. Lors de l'élaboration de ses textes de réglementation, la CCEA en publie d'abord le projet à titre de Document de consultation, afin de connaître les commentaires du secteur nucléaire et du grand public, avant que le projet de texte de réglementation paraisse sous sa forme définitive. Dans certains cas, après l'achèvement de la période réservée aux commentaires, la Commission peut faire mettre le document de consultation à l'essai pratique pour un temps limité. Après cette période d'essai, on demande encore une fois l'opinion du public, avant que le document révisé soit publié sous sa forme définitive.

4. Tout commentaire sur les documents de consultation et toute suggestion à l'égard des nouveaux textes de réglementation ou ceux déjà en vigueur sont les bienvenus; il suffit de les transmettre à la section des Effets sur la santé et documents de réglementation de la CCEA.

5. On peut se procurer des exemplaires des documents de consultation et des textes de réglementation, dans les deux langues officielles, en s'adressant au Bureau d'information publique. Toute demande de renseignements techniques ou d'interprétation des textes devrait être acheminée au Bureau susmentionné.

6. L'adresse de la CCEA est la suivante:

   Commission de contrôle de l'énergie atomique
   C.P. 1046
   Succursale "B"
   OTTAWA (Ontario)
   CANADA K1P 5S9

   Renseignements: (613) 995-5894

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES OBJECTIFS, EXIGENCES ET LIGNES DIRECTRICES..... ii

1. BUT ET PORTÉE..... 1

2. INTRODUCTION..... 1

3. OBJECTIFS DE L'ÉVACUATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS..... 3

4. EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES DE BASE..... 3

4.1 Répercussions sur les générations futures..... 3

4.2 Protection de l'environnement..... 5

4.3 Protection de la santé des gens..... 5

4.3.1 Exigences en l'absence de contrôles institutionnels..... 5

4.3.2 Exigences en présence de contrôles institutionnels..... 7

5. DIRECTIVES POUR L'APPLICATION DES EXIGENCES DE RADIOPROTECTION DE BASE. 8

5.1 Identification des personnes visées..... 8

5.2 Probabilités des scénarios d'irradiation..... 8

5.3 Période de temps à considérer..... 9

5.4 Données des modèles de prévision..... 11

5.5 Optimisation..... 13

OBJECTIFS, EXIGENCES ET LIGNES
DIRECTRICES RÉGLEMENTAIRES POUR
L'ÉVACUATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

LISTE DES OBJECTIFS, EXIGENCES ET LIGNES DIRECTRICES

I. OBJECTIFS DE L'ÉVACUATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

L'évacuation des déchets radioactifs a pour but de traiter les déchets d'une façon qui, tout en tenant compte des facteurs économiques et sociaux.

- minimise les obligations des générations futures;
- protège l'environnement;
- protège la santé des gens.

II. EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES DE BASE

A. Répercussions sur les générations futures

Les répercussions sur les générations futures seront minimisées en :

a) choisissant des méthodes d'évacuation de déchets radioactifs qui ne dépendent pas, dans la mesure du possible, de contrôles institutionnels à long terme comme étant nécessaires à la sûreté;

b) appliquant ces méthodes d'évacuation en temps opportun, compte tenu des facteurs techniques, économiques et sociaux;

c) s'assurant qu'il n'existera dans l'avenir aucun risque radiologique pour la santé des gens qui ne serait pas acceptable à l'heure actuelle.

B. Protection de l'environnement

Les méthodes d'évacuation de déchets radioactifs doivent être appliquées de manière telle qu'il n'y ait aucune conséquence radiologique future sur l'environnement qui ne serait pas acceptable à l'heure actuelle et que la présence de contaminants radioactifs ou non ne nuisent pas à toute utilisation future des ressources naturelles.

C. Protection de la santé des gens

1. Exigences en l'absence de contrôles institutionnels

Dans le cas des installations d'évacuation qui ne nécessitent pas de contrôles institutionnels à long terme comme caractéristique de sûreté, le risque radiologique prévu pour chaque personne ne doit pas dépasser 1×10^{-6} cas d'effets graves sur la santé par année.

2. Exigences en présence de contrôles institutionnels

Dans le cas des installations d'évacuation qui nécessitent des contrôles institutionnels comme caractéristique de sûreté, le risque radiologique prévu pour chaque personne peut dépasser 1×10^{-6} cas d'effets graves sur la santé par année :

a) si la situation est compatible avec les résultats de l'analyse d'optimisation;

b) pourvu que le risque radiologique prévu pour chaque personne ne dépasse pas ce qui est acceptable à l'heure actuelle pour les activités relatives aux mêmes déchets.

III. DIRECTIVES POUR L'APPLICATION DES EXIGENCES DE RADIOPROTECTION DE BASE

A. Identification des personnes visées

Les exigences relatives au risque individuel devraient être appliquées à un groupe de personnes dans un endroit et en un moment supposés où le risque est susceptible d'être le plus grand, sans égard aux frontières nationales.

B. Probabilités des scénarios d'irradiation

Il faudrait attribuer aux probabilités des scénarios d'irradiation des valeurs numériques basées soit sur leur fréquence relative, soit sur les meilleurs calculs estimatifs et les meilleurs jugements en matière d'ingénierie.

C. Période de temps à considérer

La période pour prouver la conformité aux exigences relatives au risque individuel grâce aux modèles mathématiques de prévision n'a pas besoin de dépasser 10 000 ans. Si le risque prévu ne culmine pas avant 10 000 ans, il doit exister des arguments raisonnables à l'effet que le taux de rejet de radionucléides dans l'environnement au delà de 10 000 ans n'augmentera pas subitement et sensiblement et que chaque personne ne sera pas exposée à un risque radiologique aigu.

D. Données des modèles de prévision

Il faudrait calculer le risque individuel en utilisant le facteur de conversion de risque 2×10^{-2} par sievert, ainsi que la probabilité des scénario d'irradiation et :

a) soit la dose annuelle individuelle calculée à partir de l'analyse déterministe des voies d'acheminement;

b) soit la valeur moyenne de la dose annuelle individuelle à partir de la distribution des doses individuelles de l'année calculée à partir de l'analyse probabiliste des voies d'acheminement dans l'environnement.

En outre, si l'analyse probabiliste des voies d'acheminement dans l'environnement est utilisée, le nombre de simulations prévoyant des doses annuelles individuelles supérieures à 1 mSv ne devrait pas dépasser 5 pour 100 du nombre total de simulations.

E. Optimisation

Dans le cas des installations d'évacuation qui nécessitent des contrôles institutionnels à long terme comme caractéristique de sûreté et où le risque radiologique prévu pour chaque personne pourrait dépasser 1×10^{-6} cas d'effets graves sur la santé par année, il faudrait considérer tous les facteurs radiologiques et non radiologiques connus dans l'analyse d'optimisation.

OBJECTIFS, EXIGENCES ET LIGNES DIRECTRICES RÉGLEMENTAIRES POUR L'ÉVACUATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1. BUT ET PORTÉE

Le présent document a pour but de fournir la base réglementaire pour juger du caractère acceptable ou non à long terme des méthodes d'évacuation de déchets radioactifs, en supposant que les aspects fonctionnels de l'emplacement des déchets et de la fermeture de l'installation satisfont le cadre actuel des exigences réglementaires. Il donne également les objectifs fondamentaux de l'évacuation de déchets radioactifs, de même que les exigences réglementaires à respecter pour réaliser ces objectifs. Il présente enfin des directives sur l'application des exigences radiologiques pour aider les personnes qui préparent leur demande à la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA).

Les exigences traitent avant tout de radioprotection, mais elles touchent aussi plus généralement à la protection de l'environnement et aux contrôles institutionnels, parce que ces facteurs découlent directement des objectifs globaux d'évacuation de déchets radioactifs. Des documents de réglementation distincts traitent déjà ou traiteront plus particulièrement des autres types d'exigences réglementaires comme celles qui pourraient toucher d'autres aspects des évaluations de concept, le choix du site, la conception, la construction, l'exploitation et le déclassement des installations de gestion de certains types de déchets. Ces documents comprennent, entre autres, le document de réglementation R-71 sur le concept de l'évacuation en profondeur des déchets de combustible nucléaire et le document de consultation C-36 portant sur la gestion des résidus des mines et des usines de concentration d'uranium.

2. INTRODUCTION

Au Canada, il existe une grande variété de déchets radioactifs qui proviennent de tous les niveaux du cycle du combustible nucléaire, de l'extraction minière et de la concentration de l'uranium jusqu'à l'exploitation des réacteurs pour produire de l'électricité; ils proviennent également de l'utilisation des radio-isotopes à des fins industrielles, expérimentales et médicales. L'ensemble de tous ces déchets est traité d'une manière fondée sur le principe du confinement et de l'isolement par rapport aux gens et à l'environnement. Toutefois, les techniques utilisées dépendent sur le besoin continu d'intervention et de surveillance humaines, que ce soit pour le contrôle, la maintenance, le traitement ou la limitation de l'accès du public afin d'assurer un niveau acceptable de sûreté radiologique. Les autres déchets sont évacués, soit comme effluents gazeux et liquides par décharge contrôlée dans l'environnement, soit comme déchets ordinaires qui ne nécessitent aucune précaution radiologique spéciale dans le cas de petites quantités de matières peu contaminées.

L'exploitation actuelle des installations de gestion de déchets radioactifs et la décharge habituelle des effluents radioactifs des autres installations nucléaires sont strictement réglementées par la CCEA grâce à un régime complet de permis et à un programme de conformité et d'application. Les exigences de radioprotection particulières que la CCEA applique découlent du système de limitation des doses recommandée par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Les limites de doses recommandées par la CIPR ont pour but de s'appliquer à toutes les pratiques où l'irradiation des travailleurs et du public peut être influencée par des contrôles actifs, mais ne s'appliquent pas aux irradiations dues aux situations inhabituelles, aux irradiations médicales et au fond naturel de rayonnement. Dans le cas de situations inhabituelles, comme les accidents et les événements inusités, au cours des activités des installations nucléaires, la CCEA applique des exigences radiologiques qui tiennent compte de la fréquence ou de la probabilité prévue de l'événement ou du processus inhabituel qui pourrait entraîner l'irradiation. En résumé, il existe actuellement un cadre réglementaire d'exigences radiologiques qui s'applique aux opérations régulières et qui assure que diverses procédures fiables sont maintenues pour contrôler les rejets dans l'environnement, pour appliquer des mesures correctives au besoin et pour surveiller les voies d'acheminement.

Dans le cas de la gestion à long terme des déchets radioactifs, l'évacuation représente l'approche privilégiée : il s'agit d'une méthode de gestion définitive où il n'existe aucune intention de récupération et qui, en principe, fait appel à des techniques et des concepts dont l'efficacité ne dépend d'aucune procédure après un délai raisonnable. Les méthodes d'évacuation pratiques à l'étude comprennent normalement le confinement des déchets et leur isolement du milieu humain pendant de très longues périodes de temps. Toutefois, pour certains types de déchets, comme les déchets très volumineux des mines et des usines de concentration d'uranium, le genre d'évacuation idéal peut parfois être impraticable. Ainsi, quand il n'existe aucune méthode d'évacuation adéquate pour atteindre ce but, il pourrait y avoir un besoin à long terme de contrôles institutionnels suivis pour prévenir tout scénario d'irradiation particulier après que l'installation a cessé de recevoir des déchets et qu'elle a été fermée.

Peu importe la méthode choisie pour le confinement et l'isolement des déchets radioactifs, toute irradiation après la fermeture de l'installation d'évacuation dépendra de toute une série d'événements et de processus de probabilité variable qui, dans certains cas, seront retardés pendant de très longues périodes de temps. Les prévisions de doses possibles aux êtres humains sont assujetties à d'autres incertitudes dues aux divers facteurs qui influent sur le transport des radionucléides dans l'environnement et aux divers changements qui pourraient se produire dans les habitudes de vie, le style de vie et la répartition démographique. En outre, dans le cas de l'évacuation sans exigence de contrôles institutionnels suivis, il serait peu sage de présupposer une capacité des générations futures à assurer la conformité aux prévisions actuelles. L'une des principes du cadre réglementaire actuel ne

s'applique donc pas dans ce cas précis. On a donc besoin d'établir d'autres exigences réglementaires pour s'assurer que sont acceptables les différentes méthodes choisies pour l'évacuation des déchets, si elles risquent d'avoir des répercussions radiologiques à long terme après l'exploitation. Pour des motifs d'uniformité, d'équité et de justice, il faudrait que ces exigences soient basées sur une extension du cadre réglementaire actuel et qu'elles s'appliquent de façon générale à tous les types de déchets et à toutes les méthodes d'évacuation possibles qui font appel au confinement et à l'isolement à long terme.

3. OBJECTIFS DE L'ÉVACUATION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

L'évacuation des déchets radioactifs a pour objectif de traiter les déchets d'une façon qui, tout en tenant compte des facteurs économiques et sociaux :

- *minimise les obligations des générations futures;*
- *protège l'environnement;*
- *protège la santé des gens.*

Il faut tenir compte de plusieurs facteurs pour atteindre ces objectifs de façon efficace et fiable à long terme. L'évacuation des déchets radioactifs basée sur le confinement et l'isolement exige des caractéristiques de sûreté pour prévenir le rejet de radionucléides dans l'environnement et pour réduire la possibilité d'accès involontaire du public aux déchets. De telles caractéristiques peuvent incorporer la combinaison adéquate de processus, de barrières et de contrôles institutionnels. Les processus comprennent la décroissance radioactive, l'adsorption, la précipitation chimique, la dilution, la dispersion et d'autres phénomènes qui influent sur le transport des radionucléides. Les barrières peuvent se présenter sous forme d'ouvrages artificiels ou de caractéristiques géologiques naturelles du site : tout système de barrières multiples assure un degré supérieur de confinement et d'isolement des déchets, ainsi qu'une plus grande confiance que tout rejet de matières radioactives dans l'environnement ne dépasserait pas un niveau faible acceptable. Les contrôles institutionnels représentent des mécanismes établis par la société pour assurer la mise en vigueur et la réussite suivie de la ligne de conduite souhaitée. Ces contrôles pourrait comprendre la vérification et le traitement des effluents contaminés, la conservation de dossiers et l'imposition de restrictions sur l'utilisation du sol dûment enregistrés dans les actes de propriété et dans les arrêtés.

4. EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES DE BASE

4.1 Répercussions sur les générations futures

Les répercussions sur les générations futures seront minimisées en :

a) choisissant des méthodes d'évacuation de déchets radioactifs qui ne dépendent pas, dans la mesure du possible, de contrôles institutionnels à long terme comme étant nécessaires à la sûreté;

b) appliquant ces méthodes d'évacuation en temps opportun, compte tenu des facteurs techniques, économiques et sociaux;

c) s'assurant qu'il n'existera dans l'avenir aucun risque radiologique pour la santé des gens, qui ne serait pas acceptable à l'heure actuelle.

L'exigence concernant la minimisation des obligations des générations futures est basée sur trois principes. Le premier traduit un point de vue pessimiste quant à la durée possible des contrôles institutionnels et l'inquiétude devant la possibilité de conséquences graves, si les contrôles faisaient défaut. S'il existe d'autres méthodes d'évacuation adéquates, les méthodes qui se basent sur la vérification, la surveillance et les contrôles institutionnels comme caractéristique de sûreté principale pour de très longues périodes ne sont pas recommandées, non pas parce que les générations futures ne seront pas compétentes du point de vue technique, mais plutôt parce que les méthodes pour assurer le suivi des contrôles ne sont pas réputés très fiables après quelques centaines d'années. Cela ne veut pas dire non plus qu'il ne faut pas essayer de sauvegarder l'identité et l'emplacement des installations d'évacuation de déchets ou d'en vérifier le rendement. On s'attend que les dossiers soient conservés et que, dans certains cas, qu'un contrôle soit effectué, mais que, dans la mesure du possible, la sûreté ne devrait pas dépendre de ces mesures.

Le deuxième principe touche la responsabilité de la génération actuelle, comme première bénéficiaire de l'exploitation courante de l'énergie nucléaire, de supporter la charge financière associée à la mise en oeuvre de diverses méthodes d'évacuation de déchets. Ce point de vue peut être atténué par la reconnaissance du fait que l'utilisation actuelle de l'énergie nucléaire contribue à un meilleur niveau de vie dont profitera les générations futures. De toutes façons, l'opportunité de l'établissement de diverses méthodes d'évacuation de déchets dépendra de certains facteurs techniques, économiques et sociaux, comme la disponibilité et le développement de sites et de techniques acceptables, les avantages techniques rattachés à l'entreposage temporaire de déchets à période courte et, dans le cas du combustible nucléaire épuisé, le désir de ne pas se débarrasser prématurément de divers éléments qui pourraient avoir une certaine valeur pour les générations futures.

Le troisième principe touche le niveau de risque radiologique qui pourrait être imposé aux générations futures puisqu'il n'est pas possible d'assurer le confinement et l'isolement total, ainsi que la sûreté absolue, en tout temps. D'un point de vue éthique et tout en respectant les recommandations de la CIPR, il faudrait limiter le risque radiologique des générations future de la même façon qu'on limite le risque radiologique de la génération actuelle.

Plus encore, on juge que le niveau de protection à fournir aux générations futures ne devrait pas être moindre que celui qui est assuré à l'heure actuelle.

4.2 Protection de l'environnement

Les méthodes d'évacuation de déchets radioactifs doivent être appliquées de manière telle qu'il n'y ait aucune conséquence radiologique future sur l'environnement qui ne serait pas acceptable à l'heure actuelle et que la présence de contaminants radioactifs ou non ne nuisent pas à toute utilisation future des ressources naturelles.

Le premier but de la radioprotection est le maintien de conditions de sécurité adéquates pour les activités humaines. L'opinion est très répandue que le niveau de protection fourni à tous les êtres humains assure la protection suffisante des autres espèces vivantes de l'environnement. Il s'ensuit que, en établissant les exigences énoncées dans le présent document au sujet de la protection des générations futures en matière de santé, une exigence pertinente concernant la protection environnementale est aussi formulée.

Toutefois, il existe encore le besoin de protéger adéquatement l'environnement physique en général contre les conséquences qui pourraient découler autant des contaminants radioactifs que non radioactifs. La gestion à long terme des déchets radioactifs doit donc être conforme aux exigences pertinentes relatives à l'utilisation du sol et à la protection des ressources naturelles, comme l'eau, les minéraux et les autres ressources rentables. Cette exigence fondamentale s'applique aussi bien à l'environnement autour des installations de gestion de déchets qu'aux matières utilisées pour leur construction et leur exploitation.

4.3 Protection de la santé des gens

4.3.1 Exigences en l'absence de contrôles institutionnels

Dans le cas des installations d'évacuation qui ne nécessitent pas de contrôles institutionnels à long terme comme caractéristique de sûreté, le risque radiologique prévu pour chaque personne ne doit pas dépasser 1 x 10-6 cas d'effets graves sur la santé par année.

Pour juger du caractère acceptable ou non de toute installation d'évacuation où l'on établit des prévisions d'irradiations hypothétiques, il n'est pas approprié d'appliquer les limites de dose de la même manière qu'on le fait aujourd'hui pour l'exploitation actuelle des installations nucléaires. Ceci s'explique par le fait qu'il ne sera pas possible, en général, d'assurer la conformité à long terme à des limites de dose préalables. Il est assez incertain également que les doses prévues seront effectivement reçues, à cause des suppositions et des incertitudes des analyses de prévision concernant, entre autres, l'emplacement des personnes irradiées. Il est également très

clair que les installations d'évacuation de déchets peuvent être assujetties à toute une série d'événements et de processus dont la probabilité annuelle peut varier bien au-dessous de 1 et qui, s'ils se produisaient, pourraient entraîner des doses supérieures à la limite de dose individuelle. Les phénomènes séismiques ou tectoniques, par exemple, peuvent modifier les caractéristiques du débit des eaux souterraines, tandis que les inondations et les effets météorologiques peuvent endommager des installations près de la surface. D'autre part, certaines activités humaines futures comme le forage de puits, l'exploitation minière, la construction ou l'agriculture, pourraient provoquer des conséquences radiologiques immédiates, pourraient modifier les caractéristiques des voies d'acheminement actuelles dans l'environnement et pourraient même en créer de nouvelles.

Afin de tenir compte des irradiations hypothétiques provenant à la fois des événements et processus très probables ou peu probables au cours d'une année, l'exigence doit être exprimée en termes de risque, defini comme étant la probabilité qu'une personne ou l'un de ses descendants subisse un effet grave sur sa santé. Ainsi défini, le risque représente la somme, pour tous les scénarios importants, du produit de la probabilité du scénario d'irradiation, de l'intensité de la dose reçue et de la probabilité d'un effet grave sur la santé par unité de dose de chaque scénario. Dans les cas où il est juste de supposer que la probabilité du scénario d'irradiation équivaut à peu près à 1, le risque représente simplement le produit de la dose et de la probabilité d'un effet grave sur la santé par unité de dose. C'est d'ailleurs souvent ce que l'on suppose dans le cas du transport à long terme des radionucléides provenant d'installations d'évacuation de déchets à travers les eaux souterraines jusqu'au milieu humain.

En ce qui concerne les irradiations continues durant toute une vie, dues aux activités nucléaires actuelles, la CIPR est d'avis pour le moment que la principale limite d'équivalent de dose effectif pour les membres du public devrait être de 1 millisievert (1 mSv) par année, en tenant compte des irradiations provenant de toutes les sources et installations, sauf les irradiations médicales et le fond naturel de rayonnement. Puisque la probabilité de cas de cancer fatal et d'effets génétiques graves est d'environ 2×10^{-2} par sievert, la possibilité d'effets graves sur la santé associé à toute dose de 1 mSv/a est de 2×10^{-5}.

Dans le cas de toute installation d'évacuation de déchets unique, il faut s'assurer que le risque radiologique prévu est suffisamment faible pour tenir compte d'une certaine marge d'incertitude dans les scénarios d'irradiation et dans leurs conséquences et pour éviter de porter préjudice aux activités nucléaires futures qui pourraient avoir des répercussions sur les mêmes personnes. Il faut donc choisir un niveau de risque individuel pertinent et prudent pour se conformer à l'objectif relatif aux répercussions radiologiques sur les générations futures. Le niveau de risque choisi, 1×10^{-6} ou 1:1 000 000 par année, équivaut à un niveau supérieur de risque dû à d'autres

activités qui sont souvent considérées à l'heure actuelle comme de risque négligeable dans la vie quotidienne des gens.

Pour mettre la discussion dans un juste contexte, il faut dire que tout risque de 10^{-6} par année représente le risque associé à toute dose de 0,05 mSv/a. Toute dose individuelle de 0,05 mSv/a ne représente qu'un faible pourcentage (environ 2,5 pour 100) de la dose annuelle provenant du fond naturel de rayonnement que reçoit la population canadienne en général et équivaut aux objectifs de conception et d'exploitation pour le rejet normal d'effluents radioactifs hors des centrales nucléaires canadiennes.

4.3.2 Exigences en présence de contrôles institutionnels

Dans le cas des installations d'évacuation qui nécessitent des contrôles institutionnels comme caractéristique de sûreté, le risque radiologique prévu pour chaque personne peut dépasser 1×10^{-6} cas d'effets graves sur la santé :

a) si la situation est compatible avec les résultats de l'analyse d'optimisation;

c) pourvu que le risque radiologique prévu pour chaque personne ne dépasse pas ce qui est acceptable à l'heure actuelle pour les activités relatives aux mêmes déchets.

Pour certains types de déchets dans un site donné, il se peut qu'il n'y ait aucune autre méthode d'évacuation réaliste qu'une méthode qui nécessite des contrôles institutionnels à long terme comme caractéristique de sûreté. Les résidus miniers d'uranium constituent une classe générale de déchets qui sont produits en grandes quantités et qui, dans la plupart des méthodes d'évacuation praticables, nécessitent une forme quelconque de contrôles institutionnels à long terme pour prévenir certains scénarios d'irradiation particuliers. Ce besoin découle du fait que les méthodes possibles d'évacuation de résidus comprennent normalement quelques variations sur le confinement en surface ou près de la surface. Dans ce cas, il faut établir des mesures pour empêcher le public d'avoir accès aux déchets ou de les utiliser par mégarde. Plus encore, le contrôle, la surveillance et la maintenance peuvent être nécessaires pour assurer un rendement satisfaisant à long terme. Il faut, cependant, dans l'esprit de l'exigence relative aux répercussions radiologiques sur les générations futures, minimiser autant que possible la nécessité de tels contrôles. Si des contrôles institutionnels sont nécessaires, il sera possible de prendre des mesures correctives ou autres pour réduire le risque à n'importe quel moment jugé opportun dans l'avenir, au besoin. Le risque prévu pour chaque personne peut alors dépasser 1×10^{-6} par année si cela est compatible avec les résultats de l'analyse d'optimisation. L'exigence selon laquelle le risque prévu pour chaque personne ne dépasse pas ce qui est accepté à l'heure actuelle au cours des

activités associées aux mêmes déchets découle aussi de l'exigence relative aux répercussions radiologiques sur les générations futures.

5. LIGNES DIRECTRICES POUR L'APPLICATION DES EXIGENCES DE RADIOPROTECTION DE BASE

5.1 Identification des personnes visées

Les exigences relatives au risque individuel devraient être appliquées à un groupe de personnes dans un endroit et en un moment supposés où le risque est susceptible d'être le plus grand, sans égard aux frontières nationales.

Le concept de groupe critique est utilisé couramment lorsque l'on applique des limites de dose individuelles aux membres du public près des installations nucléaires existantes. Ce concept comprend l'identification d'un groupe de personnes relativement homogène qui devrait recevoir l'irradiation la plus importante à cause de l'emplacement, de l'âge, des habitudes et du régime alimentaire de chaque personne du groupe. Vu les suppositions prudentes normalement utilisées pour choisir les groupes critiques et pour définir leur style de vie, les doses reçues réellement seront inférieures, dans la plupart des cas, à la dose moyenne estimée du groupe critique.

En considérant les irradiations possibles dans l'avenir, l'identification précise des groupes critiques et de leur style de vie n'est pas possible à cause des incertitudes qui existent au sujet de la répartition démographique, des habitudes de vie, du climat et des autres aspects de l'environnement. Dans de telles circonstances, les exigences relatives au risque individuel devraient être appliquées à un groupe de personnes dans un endroit et en un moment supposés où le risque sera sans doute le plus grand. Les exigences relatives au risque doivent être appliquées sans égard pour l'emplacement des personnes irradiées afin d'assurer que celles qui se trouvent hors des frontières canadiennes profitent d'un niveau de radioprotection à tout le moins aussi rigoureux que le niveau dont profitent les résidents du Canada.

La définition du style de vie du groupe de personnes hypothétique devrait se baser sur le comportement humain actuel, tout en utilisant des suppositions prudentes et réalistes. D'autre part, le régime alimentaire et les caractéristiques métaboliques du groupe devraient se baser sur les connaissances actuelles, tout en supposant que les besoins alimentaires fondamentaux des générations futures seront les mêmes que pour la génération actuelle.

5.2 Probabilités des scénarios d'irradiation

Il faudrait attribuer aux probabilités des scénarios d'irradiation des valeurs numériques basées soit sur la fréquence relative des irradiations, soit sur les meilleurs calculs estimatifs et les meilleurs jugements en matière d'ingénierie.

Pour appliquer les exigences relatives au risque, il est nécessaire d'exprimer quantitativement les probabilités des scénarios d'irradiation. Bien que le mot «probabilité» soit normalement défini en termes de fréquence relative, la méthode traditionnelle pour déterminer les probabilités est moins fiable à mesure que la fréquence diminue, parce qu'il existe alors de moins en moins de données pour fonder les prévisions. Il faudrait donc attribuer des valeurs basées sur les meilleurs calculs estimatifs et les meilleurs jugements en matière d'ingénierie aux scénarios d'irradiation peu probables. Ces valeurs peuvent être déterminées en utilisant une approche subjective où un nombre est attribué à la possibilité qu'un événement se produise dans une période de temps donnée, comme mesure du degré de confiance que l'événement se produira réellement au cours de la période. L'attribution du nombre devrait être effectuée en utilisant des techniques analytiques quantitatives pour évaluer les opinions le plus diversifiées possible de spécialistes. L'utilisation de probabilités subjectives est de mise pourvu que les valeurs quantitatives attribuées grâce aux meilleurs calculs estimatifs et aux meilleurs jugements en matière d'ingénierie soient cohérentes avec les valeurs quantitatives des fréquences relatives réelles dans des situations où il existe plus de données.

5.3 Période de temps à considérer

> *La période pour prouver la conformité aux exigences relatives au risque individuel grâce aux modèles mathématiques de prévision n'a pas besoin de dépasser 10 000 ans. Si le risque prévu ne culmine pas avant 10 000 ans, il doit exister des arguments raisonnables à l'effet que le taux de rejet de radionucléides dans l'environnement au delà de 10 000 ans n'augmentera pas subitement et sensiblement et que chaque personne ne sera pas exposée à un risque radiologique aigu.*

Il n'est pas possible de prouver qu'une installation d'évacuation de déchets radioactifs est conforme aux exigences relatives au risque individuel autrement qu'en prévoyant les répercussions futures à l'aide de techniques de modélisation mathématique de prévision. Pour toute évaluation du rendement des méthodes d'évacuation de déchets, il existe plusieurs sources d'incertitude associées aux valeurs paramétriques, aux modèles mathématiques et à la désignation particulière des voies d'acheminement dans l'environnement et des scénarios d'irradiation. En conséquence, il subsistera toujours de l'incertitude dans la répercussion radiologique prévue, peu importe que la répercussion provienne de rejets très probables ou de rejets dont la probabilité est très inférieure à 1. En général, ces incertitudes augmenteront en proportion de la période de prévision. D'autre part, les incertitudes sont partiellement compensées par le fait que le danger possible associé aux déchets radioactifs diminuent constamment avec le temps à cause du phénomène de la décroissance radioactive, contrairement au danger possible de plusieurs types de déchets chimiques toxiques qui ne décroissent pas.

À la lumière des conditions environnementales de plus en plus spéculatives et incertaines qui pourraient exister un jour, les calculs estimatifs du risque

individuel dans l'avenir lointain pourraient contenir plusieurs erreurs, dans la mesure où les modèles environnementaux jouent un rôle capital dans l'évaluation du risque. Si le climat global subissait des changements sérieux, par exemple, le milieu humain serait modifié de façon draconienne par rapport à celui que nous connaissons aujourd'hui. On considère donc, à des fins de décisions réglementaires, qu'il est bon d'établir une limite temporelle supérieure pour calculer le risque individuel.

Le choix d'une limite supérieure, toutefois, est une affaire de jugement puisqu'il ne semble pas y avoir de façon objective de limiter les évaluations de façon scientifiquement acceptable. Compte tenu des caractéristiques des déchets radioactifs, les méthodes d'évacuation et les incertitudes entourant les prévisions à long terme, on considère que 10 000 ans après la mise en place des déchets représente une période de temps maximale suffisante pour les évaluations du risque individuel.

Pour certains types de déchets et certaines méthodes d'évacuation, des périodes de temps plus courtes que 10 000 ans sont tout ce qu'il faut pour établir les modèles de prévision. Ceci s'applique particulièrement quand les prévisions de décroissance radioactive ou de rejet et de dispersion de radionucléides sont telles que le risque pour chaque personne décline sensiblement. Dans les autres cas, les évaluations peuvent montrer que le risque prévu pour chaque personne ne culmine pas avant 10 000 ans. Ceci pourrait se produire lorsque des déchets à période longue sont confinés et isolés dans des formations géologiques qui sont relativement peu affectés par les phénomènes naturels de surface et qui resteront sans doute stables pendant de très longues périodes de temps. Dans ces cas précis, il doit exister un raisonnement solide concluant que, au delà de 10 000 ans, le rejet de radionucléides ne connaîtra pas d'augmentations soudaines et importantes et que chaque personne ne subira pas de risque radiologique aigu.

Pour mettre la période maximale de 10 000 ans dans un juste contexte, il faudrait reconnaître que certains spécialistes croient que la nouvelle ère glaciaire commencera à un moment donné variant entre quelques milliers et quelques dizaines de milliers d'années. En cas de glaciation, on peut s'attendre que les déchets près de la surface seront dispersés et dilués dans l'environnement par le mouvement des couches de glace. Il est aussi raisonnable de supposer que les humains éviteraient une région recouverte de beaucoup de glace durant une ère glaciaire, mais qu'ils réhabiteraient sans doute la même région lorsque les glaciers diminueraient plusieurs milliers d'années plus tard. Les déchets placés à plus grande profondeur seront moins touchés par la glaciation en proportion de leur profondeur et selon la nature de la formation géologique où ils sont déposés. Il semble évident, par exemple, qu'un dépôt de combustibles nucléaires dans des couches géologiques profondes de roches cristallines dures ne seraient pas rompu par l'érosion de la glaciation, bien que le système de débit des eaux souterraines régionales serait sans doute modifié.

5.4 Données des modèles de prévision

Il faudrait calculer le risque individuel en utilisant le facteur de conversion de risque 2 x 10^{-2} par sievert, ainsi que la probabilité des scénarios d'irradiation et :

a) soit la dose annuelle individuelle calculée à partir de l'analyse déterministe des voies d'acheminement;

b) soit la valeur moyenne de la dose annuelle individuelle à partir de la distribution des doses individuelles de l'année calculée à partir de l'analyse probabiliste des voies d'acheminement dans l'environnement.

En outre, si l'analyse probabiliste des voies d'acheminement dans l'environnement est utilisée, le nombre de simulations prévoyant des doses annuelles individuelles supérieures à 1 mSv ne devrait pas dépasser 5 pour 100 du nombre total de simulations.

Il existe deux approches générales pour effectuer la modélisation mathématique du rendement à long terme des installations d'évacuation de déchets, mais il faut reconnaître que, peu importe l'approche probabiliste ou l'approche déterministe, les résultats ne peuvent représenter qu'une approximation des conséquences, si le rejet de radionucléides se produisait effectivement. La fiabilité des données des modèles doit donc dépendre d'un examen rigoureux des suppositions, des données d'entrée et des modèles mathématiques construits pour représenter le rejet et le transport des radionucléides et l'irradition subséquente des personnes. On peut accomplir cet examen en combinant plusieurs méthodes complémentaires, comme :

a) l'utilisation d'un programme d'assurance-qualité approprié pour le développement, l'application et la maintenance de modèles informatiques et pour la collecte, l'interprétation et l'incorporation des données;

b) l'utilisation de techniques expérimentales en laboratoire et sur le terrain pour valider le mieux possible les modèles et les valeurs paramétriques;

c) l'examen par des spécialistes indépendants du domaine.

Dans l'approche déterministe traditionnelle, une valeur unique pour chaque paramètre de modèle est choisie parmi une série de valeurs d'entrée pour produire une valeur unique de donnée de sortie de modèle, ordinairement en termes de dose individuelle annuelle qui est la principale conséquence à considérer. En utilisant cette technique, des suppositions prudentes sont faites normalement pour compenser les nombreuses sources d'incertitude en modélisation environnementale et pour assurer que les calculs surestiment les doses probables dus aux rejets possibles hors des installations. Si l'on

modélise des systèmes complexes, des analyses de sensibilité devraient être effectuées pour examiner l'effet des changements dans les valeurs des paramètres de modèle sur l'estimation de la dose, surtout si la dose estimée est considérée comme insignifiante. Il est alors possible d'obtenir des comparaisons avec les exigences relatives au risque, pourvu que les probabilités des scénarios d'irradiation aient été correctement attribuées.

L'autre approche comprend des techniques d'évaluation probabiliste dans lesquelles chaque valeur paramétrique est choisie au hasard à partir de sa distribution de probabilité comme donnée d'entrée du modèle. En répétant l'analyse plusieurs fois, on obtient une distribution de la fréquence des conséquences qui représente l'étendue et la variation des conséquences comme résultat de la variabilité et de l'incertitude des valeurs paramétriques d'entrée pour des scénarios d'irradiation généralisés particuliers. Bien que cette approche comporte certains avantages par rapport à l'approche déterministe traditionnelle en fournissant plus de renseignements, la distribution de la fréquence de la dose individuelle présentera normalement une valeur de la dose la plus probable et une valeur de dose maximale vers la queue de la distribution. Dans ce cas, la valeur moyenne arithmétique de la répartition devrait être calculée et considérée comme représentative des conséquences prévues pour un scénario d'irradiation généralisé, comme celui qui comprend le transport des radionucléides à travers les eaux souterraines vers l'environnement. De même que pour les évaluations déterministes, des analyses de sensibilité devraient également être effectuées pour examiner l'effet des changements des suppositions d'entrée sur la valeur de dose moyenne. Celle-ci devrait alors être combinée avec la probabilité du scénario d'irradiation généralisé et le facteur de conversion de risque pour les comparer avec les exigences relatives au risque individuel.

En calculant la valeur moyenne de la distribution de la fréquence des doses, l'importance des valeurs élevées extrêmes risque d'être négligée même si certaines d'entre elles pourraient logiquement découler de combinaisons de valeurs paramétriques raisonnables. Toutefois, le fait que de telles combinaisons entraînent des conséquences dans la queue de la distribution indique bien que leur fréquence relative est faible. Néanmoins, la fréquence relative d'événements à conséquences élevées peut différer sérieusement entre les diverses distributions de fréquence qui ont la même valeur moyenne. Il faut donc avoir un critère additionnel pour aider à juger du caractère acceptable d'une méthode pour laquelle l'analyse probabiliste des voies d'acheminement dans l'environnement calcule des doses élevées, mais avec une fréquence relative faible.

La désignation précise d'un tel critère en termes de la fréquence relative des conséquences prévues qui dépassent une dose donnée est quelque peu arbitraire et nécessite la sélection des deux paramètres suivants : le niveau de dose de référence et la fréquence des fois où le niveau est dépassé. Un niveau de dose de référence de 1 mSv par année équivaut à la limite de dose recommandée par la CIPR pour les membres du public dans le cas d'irradiations de longue

durée dues aux activités actuelles. Il représente également environ 50 pour 100 de la dose due au fond naturel de rayonnement au Canada. Une fréquence relative de 5 pour 100 quand on dépasse le niveau de dose de référence, correspond, dans le cas de doses réparties selon la méthode gaussienne autour de la valeur moyenne, à dire que 95 pour 100 des doses prévues doivent être contenues à l'intérieur de deux déviations normales de la moyenne. Cette méthode est semblable aux critères utilisés couramment en statistique.

5.5 Optimisation

Dans le cas des installations d'évacuation qui nécessitent des contrôles institutionnels à long terme comme caractéristique de sûreté et où le risque radiologique prévu pour chaque personne pourrait dépasser 1×10^{-6} cas d'effets graves sur la santé par année, il faudrait considérer tous les facteurs radiologiques et non radiologiques connus dans l'analyse d'optimisation.

Le principe de la CIPR selon lequel toutes les irradiations devraient être maintenues au niveau le plus faible qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux, s'applique généralement à l'évacuation des déchets radioactifs. L'application de ce principe de la façon recommandée par la CIPR comprend la comparaison entre la différence des coûts des méthodes viables et possiblement acceptables et des différences de protection radiologique qu'elles offrent.

Ces analyses différentielles des avantages et des coûts, toutefois, n'indiqueront sans doute pas de distinction claire entre les méthodes possibles, surtout lorsque, selon les prévisions, le risque devrait se produire très tard dans l'avenir. Dans ce cas, il faudrait peut-être effectuer des analyses plus étendues et appliquer divers critères de sélection pour aider à décider entre les méthodes. Il est bon de considérer autant le risque pour le public que pour les travailleurs, pour chaque étape des activités associées à l'évacuation des déchets, et non seulement le risque individuel à long terme. Les critères de sélection pourraient aussi s'appliquer aux distributions spatiales et temporelles du risque radiologique et à divers facteurs non radiologiques qui comprennent notamment la sécurité matérielle classique, les répercussions sur l'environnement, le transport, la nature et la durée de toute exigence relative aux contrôles institutionnels et la vulnérabilité des méthodes possibles d'évacuation face aux perturbations naturelles et à l'accès non autorisé des gens.